

УДК621.15

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ БУНКЕРНЫЕ СКРЕБКИ ТРУБЧАТЫХ КОНВЕЙЕРОВ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ТРАССЫ

Любин Николай Владимирович к.т.н., доцент
Токарчук Алексей Анатолиевич к.т.н., ст. преподаватель
Винницкий национальный аграрный университет

Lubin N.
Tocarciuc A.

Vinnitsia National Agrarian University

Анотация: в статье рассматриваются закономерности истечения сыпучего материала через бункерные скребки трубчатых конвейеров на примере вертикальных участков трассы. В основу теории перемещения груза через бункерные скребки положена механика сыпучих тел. Задача механики идеально сыпучих тел была решена согласно классической схеме: было выделено некоторый объем сыпучего тела, рассмотрены влияния на него внешние силы, было составлено и проинтегрировано дифференциальное уравнение движения этого объема. Из полученного уравнения следует, что законы истечения сыпучих материалов из бункерных скребков определяются геометрическими параметрами скребка, а форма и расстояние между скребками значение не имеют. Время истечения сыпучих материалов через бункерные скребки на вертикальных участках трассы определяются геометрическими параметрами скребка, а также высотой сыпучего материала

Ключевые слова: сыпучий материал, бункерный скребок, трубчатый конвейер.

Вступление

Сыпучие материалы широко распространены во всех отраслях производства. В сельском хозяйстве к ним относятся различные виды зерна (пшеница, горох, просо и т.п.), в пищевой промышленности – крупа, сахарный песок, мука и т.п., в комбикормовой промышленности – комбикорм, зерно, микродобавки и т.п.

Иногда при транспортировке сложных смесей, например комбикормов, при обогащении их витаминами, микробиологическими компонентами, в процессе транспортирования желательнее обеспечить смешивание. Данные технические задачи можно решить при помощи специальных бункерных скребков [1, 2].

Постановка задачи исследования

Выбор рациональных параметров бункерных трубчатых конвейеров для контейнерных условий работы, очевидно, невозможен без их теоретического обоснования и инженерного расчета. А поскольку движения сыпучих материалов подчиняется законом механики, то в основу теории перемещения груза через бункерные скребки положена механика сыпучих тел [3, 4].

Сыпучий материал, между зернами которого существуют силы сухого трения такой интенсивности, при которой еще сохраняются его распорные свойства, будем называть «идеальным сыпучим телом» [2].

Переходя к обоснованию механической модели сыпучего тела, отметим, прежде

всего, двоякий характер его механических свойств: являясь материалом дискретным, сыпучий материал обладает, в то же время, некоторыми свойствами, приближающими его к сплошной среде, например, жидкостям [1, 2, 3].

Дискретную сторону механической модели сыпучего тела будем характеризовать следующими допущениями [5, 6]:

- сыпучее тело представляет собой совокупность отдельных абсолютно твердых шаров зерен, уложенных правильными слоями;
- в процессе движения материала в бункерном скребке его зерна перемещаются поступательно (не вращаются), скользя, друг по другу и по стенкам бункерного скребка;
- сил трения о поверхности скребка (внешнее трение) и друг о друга (внутреннее трение) подчиняются законам сухого трения Кулона; силы сцепления отсутствуют;
- вертикальное давление распределено равномерно по площади поперечного сечения сыпучего материала на скребке.

Решаем задачу механики идеально сыпучих тел согласно классической схеме [7]: выделяем некоторый объем сыпучего тела (сначала сплошной, а затем дискретной среды), рассматриваем действующие на него внешние силы; составляем и интегрируем дифференциальные уравнения движения этого объема.

Изложение основного материала

Пусть поток сыпучего материала течет по бункерному скребку переменного сечения вниз в соответствии со схемой «гидравлического истечения».

Бункерный скребок, изображенный на рис. 1, имеет следующие геометрические параметры: H – высота бункерного скребка;

R – радиус верхнего (при $x = 0$) сечения,

α – угол отклонения образующих конуса от вертикали;

r – радиус выпуклого отверстия.

Соотношение между заданными величинами следующие:

$$r = R - H \cdot \operatorname{tg} \alpha = R - vH,$$

где $v = \operatorname{tg} \alpha$.

Дифференциальное уравнение истечения сыпучих материалов можно записать [3;4]:

$$\frac{dq}{dt} - \frac{F'_0}{F^2} \cdot q^2 = qF_0 \quad (1)$$

Найдём постоянное F_0 и F'_0 данного уравнения.

Площадь $F(x)$ текущего поперечного сечения $m-m$, имеющего абсцисс x , и её производная по абсцисс $F'(x)$ выразится формулами:

$$\left. \begin{aligned} F(x) &= \pi(R - vx)^2 \\ F'(x) &= -2\pi v(R - vx) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При $x = H$ получим:

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= F(H) = \pi(R - vH)^2 = \pi r^2 \\ F'_0 &= F'(H) = -2\pi v(R - vH) = -2\pi vr \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Поставив выражение (3) в уравнение (1), придём к дифференциальному уравнению

истечения сыпучего материала из бункерного скребка трубастого конвейера

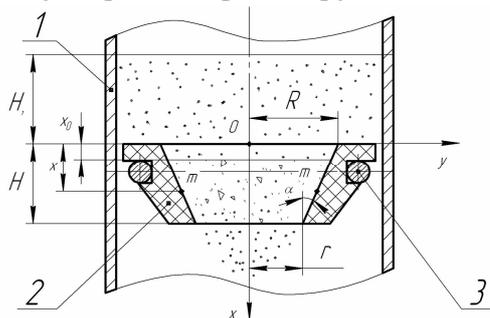


Рис. 1. Основные параметры бункерного скребка: 1 – труба; 2 – бункерный скребок; 3 – блочный тяговый орган

$$\frac{dq}{dt} + \frac{2\epsilon}{\pi r^3} \cdot q^2 = \pi r^2 g \quad (4)$$

Упростив выражение (4), запишем:

$$\frac{dq}{dt} + Dq^2 = E, \quad (5)$$

где $D = \frac{2\epsilon}{\pi \cdot r^3} = const; E = \pi r^2 g$.

Тогда частное решение уравнения (5) при начальных условиях $t=0, q=0$ имеет вид:

$$q = \sqrt{\frac{E}{D}} th \sqrt{ED} t \quad (6)$$

Подставив в зависимость (6) значение D и E , найдём зависимость расхода от времени, и разделив расход на площадь отверстия $F_0 = \pi r^2$, получим зависимость скорости истечения от времени.

$$\left. \begin{aligned} q &= \pi r^2 \sqrt{\frac{gr}{2\epsilon}} th \sqrt{\frac{2\epsilon g}{r}} t \\ g_0 &= \sqrt{\frac{gr}{2\epsilon}} th \sqrt{\frac{2\epsilon g}{r}} t \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

С возрастанием времени гиперболический тангенс $(th \sqrt{\frac{2\epsilon g}{r}} \cdot t \rightarrow 1)$ расход q и скорость истечения g_0 асимптотически стремятся к своим предельным значениям q_{np} и g_{np} :

$$\left. \begin{aligned} q_{np} &= \pi r^2 \sqrt{\frac{gr}{2\epsilon}} \\ g_{np} &= \sqrt{\frac{gr}{2\epsilon}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что предельные значения расхода и скорости истечения не зависят от высоты столба материала над отверстием. Они являются функциями лишь радиуса r отверстия и угла $\alpha = arctg v$, составленного образующим конуса с вертикалью.

С возрастанием $v = tg \alpha$ величина q_{np} и g_{np} убывают, а с уменьшением v наоборот, увеличиваются.

Величина

$$\sqrt{\frac{2\epsilon g}{r}} = \omega \quad (9)$$

вошедшая в формулы (7), характеризует быстроту (темп) приближения скорости и расхода к их предельным значениям.

Действительно, чем больше ω , тем больше при заданном t аргумент ωt гиперболического тангенса, тем ближе к единице значение $th \omega t$.

Из формулы (9) видно, что с возрастанием r величина ω уменьшается; процесс приостановившегося истечения растягивается во времени. Наоборот, при малых r процесс истечения стабилизируется за короткое время.

Величина $\epsilon = tg \alpha$ оказывает на ω противоположное влияние. Чем больше ϵ , тем быстрее достигается предельная скорость истечения. При малых значениях ϵ процесс стабилизации истечения растягивается во времени.

Следовательно, чем меньше угол наклона стенки конуса скребка к его оси, тем больше \mathcal{G}_{np} и меньше ω , поэтому больше период неустановившегося истечения.

Произведение этих величин, как следует из формул (8) и (9), есть величина постоянная, равная ускорению свободного падения:

$$\omega \cdot \mathcal{G}_{np} = g = const$$

Для определения времени истечения сыпучего материала из бункерных скребков проинтегрируем первое из уравнений (7) по времени, учитывая, что:

$$q = -\frac{dV}{dt}$$

где V – текущий объём сыпучего тела.

Приняв начальное условие: при $t=0$, $V=V_0$ (где V_0 – первоначальный объём сыпучего тела), получим:

$$V = V_0 - \frac{\pi r^2}{2\epsilon} \ln ch \omega t \quad (10)$$

или решив зависимость (10) относительно времени:

$$t = \sqrt{\frac{r}{2\epsilon g}} \left[\frac{2\epsilon(V_0 - V)}{\pi r^3} + \ln \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{4\epsilon(V_0 - V)}{\pi r^3}}} \right) \right] \quad (11)$$

Приняв в этой формуле нулю текущий объём V находящегося сыпучего тела, найдём время T истечения:

$$T = \sqrt{\frac{r}{2\epsilon g}} \left[\frac{2\epsilon V_0}{\pi r^3} + \ln \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{4\epsilon V_0}{\pi r^3}}} \right) \right] \quad (12)$$

Учитывая, что у бункерных скребков объём сыпучего материала можно выразить через радиус R и r верхнего и нижнего сечения и величину $\epsilon = tg \alpha$:

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{\pi}{3\epsilon} [(R - \epsilon x)^3 - r^3] \\ V_0 &= \frac{\pi}{3\epsilon} (R^3 - r^3) \end{aligned} \right\}$$

получим выражение времени истечения через величины R , r и ϵ :

$$T = \sqrt{\frac{r}{2\epsilon g}} \left[\frac{2}{3} \left(\frac{R^3}{r^3} - 1 \right) + \ln \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{4}{3} \left(\frac{R^3}{r^3} - 1 \right)}} \right) \right] \quad (13)$$

Так как $R > r$, отношение $\frac{R}{r} > 1$. Это означает, что показательное слагаемое в подкоренном выражении, стоящим под знаком логарифма в формуле (13) практически равно нулю.

Пренебрегая этим слагаемым, получим:

$$T = \sqrt{\frac{r}{2\epsilon g}} \left[\frac{2}{3} \left(\frac{R^3}{r^3} - 1 \right) + \ln 2 \right] \quad (14)$$

А если положить $\ln 2 = 0,693 \approx \frac{2}{3}$, то формула (14) примет удобный для расчётов приближённый вид:

$$T = \frac{2R^3}{3r^3} \sqrt{\frac{r}{2\epsilon g}} \quad (15)$$

Если груз, находящийся перед скребком высотой H_1 , а законы истечения не зависят практически от высоты, поэтому формулы (7) могут быть применены и для такого случая наполнения межскребкового пространства.

При тех же допущениях, что были приняты раньше, из формулы (12) получим выражение времени истечения сыпучих материалов межскребкового пространства через бункерные скребки:

$$T = \frac{2R^3}{3r^3} \sqrt{\frac{r}{2\epsilon g}} \left(1 + 3\epsilon \frac{H_1}{R} \right) \quad (16)$$

где H_1 – высота сыпучего материала перед скребком.

Выводы

1. Из полученного уравнения (7) следует, что законы истечения сыпучих материалов из бункерных скребков определяются геометрическими параметрами скребка r и $\epsilon = \operatorname{tg} \alpha$. Т.е. фактически форма и расстояние между скребками верхней части трубчатых конвейеров на законы истечения практически не влияют.

2. Время истечения сыпучих материалов через бункерные скребки на вертикальных участках трассы трубчатых конвейеров имеет удобный для расчётов вид (16) и в основном определяется геометрическими параметрами скребка R , r и $\epsilon = \operatorname{tg} \alpha$, а также высотой сыпучего материала (H_1) перед скребком.

3. Зная время истечения для разных сыпучих материалов можно влиять на степень перемешивания и так же определить необходимую скорость движения тягового органа.

Список литературы

1. Гячев, Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1968. – 184 с.
2. Гячев, Л. В. Основы теории бункеров и силосов: Учебное пособие / Л. В. Гячев. / Алт. политехн. ин-т им. И.И. Позунова. – Барнаул: Б. и. 1986. – 84 с.
3. Зенков, Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 222 с.
4. Усов, К. А. Трубчатые скребковые конвейеры, их конструкция и основы расчёта / К. А. Усов. // Труды

ВНИИТМаш. – 1960. – Вып. 8.

5. SCHMOLKE, S.; KATTERFELD, A.: Measurement Signals of the Chain Tractive Force from a Closed Pipe Circuit. In: Conference Proceedings MAT, Messgesellschaft Nurnberg, 2001

6. Пат. №56182 UA, МПК В65G 19/00. Робочий орган шайбового транспортера/ Гевко Р. Б., Токарчук О.А., Кричківський В.Й. (UA); заявник і патентовласник Тернопільський національний економічний університет (UA).- №u201005721; заявл. 12.05.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл.№ 1.

7. Гевко, Р. Б. Обґрунтування параметрів конструкції робочого органу шайбового транспортера / Р. Б. Гевко, О. А. Токарчук // Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка.- 2011.- Випуск 114.- С.241-246.

References

1. Gyachev , L. V. Dvizheniye sypuchikh materialov v trubakh i bunkerakh / L. V. Gyachev . - M. : Mashinostroyeniye , 1968. - 184 s.

2. Gyachev , L.V. Osnovy teorii bunkerov i silosov : Uchebnoye posobiye / L.V. Gyachev . / Alt . politekhn . in-t im. I.I. Pozunova . - Barnaul : B. i. 1986. - 84s .

3. Zenkov , R. L. bunkernyye ustroystva / R. L. Zenkov , G. P. Grinevich , V. S. Isayev . - M. : Mashinostroyeniye , 1977. - 222 s.

4. Usov , K.A. Trubchatyye skrebkovyye konveyery , ikh konstruktsiya i osnovy raschota / K.A. Usov .// Trudy VNIITMash . - 1960. - Вып . 8 .

5. SCHMOLKE, S.; KATTERFELD, A.: Measurement Signals of the Chain Tractive Force from a Closed Pipe Circuit. In: Conference Proceedings MAT, Messgesellschaft Nurnberg, 2001

6. Pat. №56182 UA , МПК V65G 19/00 . Robochyy orhan shaybovy transportera / Hevko R. B. , Tokarchuk O.A. , Krichkivskiy V.Y. (UA) ; zayavnyk y patentovlasnik Ternopilskyy natsionalnyy ekonomichnyy universytet (UA) . - №u201005721 ; zayavl . 12.05.2010 ; opubl . 10.01.2011 , Byul.№ 1 .

7. Hevko , R. B. Obruntuvannya parametriv konstruktsiyi RObochyy orhanu shaybovy transportera / R. B. Hevko , O. A. Tokarchuk // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Petra Vasilenka.- 2011.- Vypusk 114.- S.241- 246 .

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИТІКАННЯ СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ ЧЕРЕЗ БУНКЕРНІ СКРЕБКИ ТРУБЧАСТИХ КОНВЕЙСРІВ НА ВЕРТИКАЛЬНИХ ДІЛЯНКАХ ТРАСИ

Анотація: у статті розглядаються закономірності витікання сипучого матеріалу через бункерні скребки трубчастих конвеєрів на прикладі вертикальних ділянок траси. В основу теорії переміщення вантажу через бункерні скребки покладена механіка сипучих тіл. Задача механіки ідеально сипучих тіл була вирішена згідно з класичною схемою: було виділено певний обсяг сипучого тіла, розглянуто вплив на нього зовнішні сили, було складено та проінтегровано диференціальне рівняння руху цього обсягу. З отриманого рівняння випливає, що закони витікання сипучих матеріалів з бункерних скребок визначаються геометричними параметрами скребка, а форма і відстань між скребками значення не мають. Час витікання сипучих матеріалів через бункерні скребки на вертикальних ділянках траси визначаються геометричними параметрами скребка, а також висотою сипучого матеріалу

Ключові слова: .сипучий матеріал, бункерний скребок, трубчастий конвеєр.

LAWS OF EXPIRATION LOOSE MATERIAL THROUGH BUNKER SCRAPERS TUBE CONVEYORS ON THE VERTICAL SECTIONS OF THE ROUTE

Summari: the article examines patterns of expiry of the bulk material through the hopper scrapers tubular conveyors on the example of the vertical sections of the route. The basis of the theory of moving goods through bunker scrapers laid mechanics loose bodies. Mechanics problems perfectly loose bodies was solved according to the classical scheme, has been allocated a certain amount of loose bodies, examined the impact that external forces, was composed and integrating the differential equation of motion of this volume. From the resulting equation that the laws of the expiry of bulk materials from hopper scraper defined geometric parameters, and the shape and the distance between the scrapers do not matter. Expiration time of bulk materials through the hopper scrapers on the vertical sections routes are determined by the geometrical parameters of the scraper, and the height of the bulk material.

Keywords: .sypuchy material hopper scraper conveyor trubchacty.